

2020년 「바이오경제」 개각 모든 생물공정 디지털化

새 천년 우리 생활 이렇게 바뀐다

새로운 천년은 우리의 생활을 어떻게 바꿀까?
타임지를 비롯한 세계의 우수한 신문과 잡지들은 앞을 다투어 21세기에 전개될 인류의 정치·경제·사회·교육·문화·과학상을 예측하고 있다. 이들이 내다 본 미래상 중에서 몇가지를 간추려 소개한다.



2025년경에 성장기를 맞을 생물경제시대에는 제약, 보건의료, 농업 그리고 식품 등 네가지 산업이 뒤섞인다.

무르익는 바이오경제시대

- 소리처럼 냄새도 개발

인류는 수십만년간의 수렵경제시대를 거쳐 약 1만년간 농업경제의 지배를 받았다. 이어서 1760년대에 영국에서 시작된 산업경제는 1950년대 초 미국에서 끝났다. 우리는 현재 정보경제 시대에 살고 있는데 75년~80년 지속될 이 경제는 2020년대에 끝날 것으로 보인다. 이어서 바이오경제(생물경제) 시대가 열린다. 사람이건 식물이건 또는 비즈니스, 산업, 경제 및 전체 문명의 생활주기는 잉태, 성장, 성숙 그리고 쇠퇴의 4단계로 뚜렷하게 나눌 수 있다. 인터넷은 정보경제의 성숙기의 주요 이벤트이며 그 최종단계에서는 무엇이든지 서로 연결할 수 있는 무선 기술과 쓴 칩을 널리 사용한다는 것이 특징이다. 생활주기는 겹치게 되어 있어 정보경제가 성숙하는 동안 바이오경제는 잉태를 끝내고 2020년대에는 성장기로 접어든다.

1953년 프란시스 크릭과 제임스 왓슨이 DNA의 이중나선구조를 발견함으로써 시작된 바이오경제는 오늘날 제1기인 잉태기를 마감하면서 인간지놈의 해독을 마치고 공표하게 되었다. 반도체와 소프트웨어가 정보경제의 제2단계에서 주요한 역할을 한 것처럼 생물공학은 바이오경제시대를 열고 있다. 앞으로 20년간 유기의 생물공학은 무기(無機)의 실리콘 정보기술과 복합 소재와 나노기술과 서로 겹치게 된다. 정보기술과 생물공학이 겹치는 동안 많은 생물공정은 디지털화된다. 그런데 지금까지는 숫자, 낱말, 소리, 영상 등 네가지의 정보가 지배했으나 앞으로는 냄새, 맛, 촉감, 상상, 직감과 같

은 여러 다른 형태의 정보가 첨가된다. 문제는 냄새나 맛이나 그밖의 새로운 정보의 형태를 나타내는 기술이 상업적으로 이용할 수 있게 개발되지 못했다는 점이다. 그러나 2020년대에는 이것도 가능해진다.

예컨대 가장 기본적인 감각인 냄새는 보는 것이나 소리처럼 디지털화되기 시작했다. 냄새를 만들어 내는 기분을 분자수준에서 파악하여 적절한 값으로 디지털로 표현할 수 있다. 미국 캘리포니아주 소재의 디지센트사, 암브릭스사같은 기업들은 이미 디지털 냄새를 개발했는가 하면 시라노 사이언스사는 질병의 '냄새를 맡을 수 있는' 의료진단기술을 개발하고 있다. 2020년대에는 글과 함께 꽃냄새를 넣은 인사장을 보낼 수 있고 디지털영화에서는 영상장면과 어울리는 독특한 냄새를 풍길 수 있게 된다.

또한 바닷가 야자나무가 우거진 장면에서는 아자유 냄새가 풍겨 나온다. 또 사람마다 독특한 체취가 있듯이 은행마다 서로 다른 냄새를 풍길 수도 있고 소매상도 독특한 냄새를 가질 수 있다.

바이오경제시대에는 제약, 보건의료, 농업 그리고 식품 등 네가지 산업이 서로 뒤얽힌다. 현재 수십종의 생물공학 의약품들이 출시되어 생명을 구제하는데 사용되고 있으나 앞으로 수십년간 생물공학에서 예측되는 가장 큰 변화는 병의 치료로부터 병의 예측과 예방으로 보건의료의 패러다임을 바꾸는 것이다. 오늘날의 보건의료는 병을 간호하는 일인데 병간호의 비즈니스모델은 병원의 병상(病床)을 채워 돈을 버는 것이었다. 바이오경제에서

는 보건의료가 예방모델에 주력하여 사람들이 병원으로 들어가지 않게 도움으로써 돈을 벌게 된다.

2020년대의 바이오경제에서는 농장이 수백만달러의 생산공장을 갖는 슈퍼생물공학 작업장이 된다. 바이오경제가 성숙기로 접어드는 2025년 이후에는 생물공학의 영향과 응용은 생물학과는 관계없이 보이는 분야까지 번져나간다. 1950년대와 1960년대에 컴퓨터가 생산에서 호텔과 보험에 이르는 모든 산업을 바꾸리라고는 예측하지 못했던 것처럼 오늘날 생물공학이 비(非) 생물학 분야의 비즈니스를 어떻게 바꿀 것일까 하는 것은 예측하기 어렵다. 그러나 21세기 중반이 될 바이오경제의 제3단계에는 생물의 응용이 모든 분야로 확산될 것으로 보인다. 다만 산업시대가 오염과 환경의 퇴화를 가져 왔고 정보시대의 문제점이 프라이버시였던 것처럼 바이오경제에서는 윤리문제가 등장한다. 복제, 생물공학식품, 우생학, 유전특허 그리고 유전병은 벌써부터 사회적 긴장을 자아내고 있다.

실리콘 반도체를 대체할 것은?

오늘날 세계 경제의 주요한 몫을 맡고 있는 실리콘바탕의 컴퓨터기술은 2020년 이후에도 과연 '무어의 법칙'을 떠받칠 수 있을까? 손톱 크기의 실리콘 웨이퍼 속에 다져 넣을 수 있는 트랜지스터의 수가 18개월마다 2배로 늘어난다는 '무어의 법칙'은 오늘날 1조달러 규모의 시장을 이끌어 나가는 거대한 엔진구실을 하고 있다. 지금까지 반도체메이커들은 자외선 빔을 이용하여 결정 실리콘 속에 극미의 흠을

식각(蝕刻)하여 이런 조밀한 제품을 만들어 왔다. 즉 펜티엄 칩의 전형적인 와이어의 굵기는 사람의 머리털 한 개 폭의 5백분의 1밖에 안되고 절연층은 25개의 원자 두께밖에 안된다.

그러나 물리학의 법칙은 '무어의 법칙'이 영원히는 지속될 수 없다고 비치고 있다. 마침내 트랜지스터의 실리콘부품이 분자크기로 접근하게 되면 부품간의 거리가 너무 가까워져 양자역학의 별난 법칙에 따라 원자 크기의 와이어와 절연체에서 전자들이 마치 구멍뚫린 소방호스에서 새어 나오는 물처럼 분출되어 치명적인 단락(短絡: 누전)을 일으킨다. 과학자들은 2014년에는 트랜지스터부품이 0.1미크론에 이르고 절연층은 2~3개 원자 두께로 좁혀지면서 빠른 걸음으로 한계점에 접근할 것이라고 예측하고 있다. 인텔 엔지니어 폴 페칸은 1999년 종합과학전문지 「사이언스」에서 '무어의 법칙'은 무너질 수 있다고 경고하면서 현재로서는 이 문제의 해결책은 알려져 있지 않다고 주장했다.

그러나 물리학자들간에서는 다음 세기의 '실리콘 밸리'를 만들기 위한 경쟁은 이미 개시되었다. 현재 이론적으로 가능성이 있다고 알려진 실리콘 컴퓨터의 대를 이을 후보로는 다음과 같은 것이 있다.

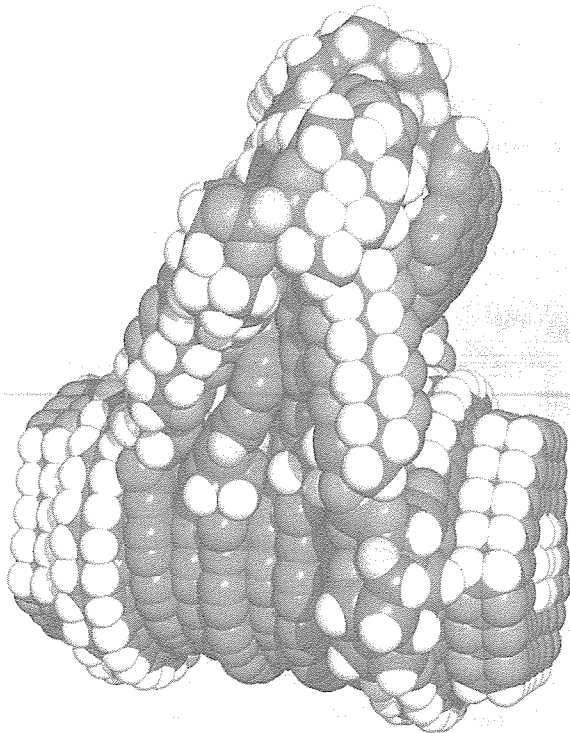
광컴퓨터: 광컴퓨터에서는 레이저광빔이 전기와 대체된다. 실리콘의 와이어와는 달리 광빔은 서로 관통할 수 있어 3차원 마이크로프로세서를 만들 수 있다. 광트랜지스터는 이미 발명되었으나 부품이 아직도 크고 어색하다. 이런 크기의 부품으로 탁상용 컴퓨터를 만든다면 승용차 크기가 된다.

DNA컴퓨터 : 과학자들이 현재 추구하고 있는 가장 정교한 구상중의 하나는 DNA를 사용하는 컴퓨터인데 두가닥의 분자를 일종의 생물학적 컴퓨터 테이프처럼 다룬다. 이런 접근책은 큰 숫자를 다룰 가능성이 있어 장차 큰 은행이나 기관에서 사용할 것으로 보인다. 그러나 DNA컴퓨터는 다루기 어려워서 가까운 장래에 랩탑컴퓨터와 대체될 것 같지는 않다.

분자 및 도트 컴퓨터 : 분자와 단일 전자로 실리콘을 대체할 분자컴퓨터와 양자 도트컴퓨터는 원자크기의 와이어와 절연체를 양산하는 매우 어려운 기술적인 문제에 부딪치고 있다. 아직도 실용원형이 나오지 않고 있다.

양자컴퓨터 : 가장 유망한 후보로 등장한 것은 '최후의 컴퓨터'로 일컬어지는 양자컴퓨터다. 이 구상은 레이저나 무선빔을 팽이처럼 빙글빙글 돌고 있는 원자핵집단에게 쬐어 주어 빔이 원자에 반사할 때 원자회전을 튀기는 방법을 분석하여 복잡한 계산을 수행할 수 있다.

그런데 미국 정보기관들은 이 새로운 미래형 컴퓨터설계를 걱정스러운 눈으로 보고 있다. 특히 양자컴퓨터는 성능이 너무 뛰어나기 때문에 장차 미국 중앙정보국(CIA)이 초합할 수 있는 가장 난해한 비밀암호도 해독할 수 있을 것 같다는 것이다. 그러나 이들 미래형 컴퓨터들은 너무 민감하기 때문에 우주선같은 사소한 교란에도 계산용 원자의 방향을 바꾸어 계산을 망가뜨릴 수도 있다. 현재 양자컴퓨터는 5개의 원자를 이용하여 하찮은 정도의 계산만 수행할 수 있다. 쓸만한 작업을 하자면 수백만개의 원자들을 사용



분자크기의 로봇은 분자크기의 근육이 필요하다. 나노기술의 이론가 에릭 드렉슬러가 설계한 '미세동작제어장치'를 이용하면 나노봇의 팔이 원자를 하나씩 조립할 수 있다.

해야 한다. 이 새로운 설계중에서 대부분은 아직도 계획단계에 있고 사용할 수 있는 원형들도 구조가 너무 투박해서 실리콘의 편의성이나 효율성과 경쟁할 수 있는 것은 전혀 없다.

한편 '무어의 법칙'이 계속해서 적용될 수 있다면 2050년에는 우리의 컴퓨터들이 초당 5백조바이트 이상의 계산 능력을 갖게되어 인간보다 훨씬 더 현명해질 것이라고 MIT 컴퓨터연구소의 레이 커즈웰은 내다보고 있다.

나노테크놀로지가 펼치는 신세계

한가지의 기술을 이용하여 질병과 싸우고 노화를 막는가 하면 유독폐기물을 청소하고 세계의 식량을 공급하며 도로와 자동차 그리고 고층건물까지 만들 수 있다면 곧이 들을 사람은

많지 않을 것이다. 그러나 21세기의 반이 가기 전에 나노기술(나노는 10억분의 1m; 전형적인 바이러스의 크기는 1백나노미터)은 이런 일을 어렵지 않게 성취할 수 있다고 주장하는 사람들이 있다. 이들의 주장은 미친 소리처럼 들릴 수도 있으나 전 세계의 주요 연구소에서는 이미 나노기술 개발에 열을 올리고 있고 더욱이 올해 1월에는 미국의 클린턴대통령이 5억달러를 지원하여 미국은 '국가 나노기술개발사업'을

추진한다고 선언했다.

나노기술의 뿌리는 1959년 리처드 페인만(노벨물리학상 수상자)이 장차 2천~3천개의 원자로 구성된 작은 기계를 제작할 수 있게 될 것이라고 말한데서 비롯되었다. 이런 기계를 이용하면 분자나 원자를 건축용 블럭으로 사용하여 건설작업을 할 수 있다. 그래서 화학이나 생물학에서 하는 것처럼 분자의 위치를 바꾸거나 재배열해서 무엇이든지 만들 수 있게 된다. 나노기술의 세계에서는 제조한다는 것은 많은 분자들을 수집하여 이것을 쓸모 있는 물건으로 형성하는 공정에 지나지 않는다. 세포는 나노기술의 살아있는 보기와 같다. 세포는 연료를 에너지로 바꿀 뿐 아니라 DNA 속에서 암호화된 소프트웨어에 따라 단백질과

효소를 생산한다. 유전공학자들은 이미 서로 다른 종의 DNA를 재조합하여 의학적으로 쓸모있는 인간호르몬을 생산하는 새로운 나노장치(박테리아세포)를 만드는 방법을 체득했다.

그러나 나노기술 전문가들은 생물공학자들보다 훨씬 더 야심적인 생각을 하고 있다. 이들은 탄소원자를 하나씩 묶어 완전한 다이아몬드를 만들 수 있는 나노기계를 구상하는가 하면 다이옥신 분자들을 하나씩 분해하여 구성요소로 해체하는 기계도 구상하고 있다. 또 인간의 혈관 속을 여행하면서 혈관벽의 콜레스테롤 찌꺼기를 찾아내어 분해하는 장치나 깎은 풀로 빵을 만드는 장치도 구상하고 있다. 실제로 컴퓨터에서 치즈에 이르는 이 세상의 모든 물질은 분자로 되어 있는데 나노기계는 원칙적으로 이것을 모두 만들 수 있다는 주장이다.

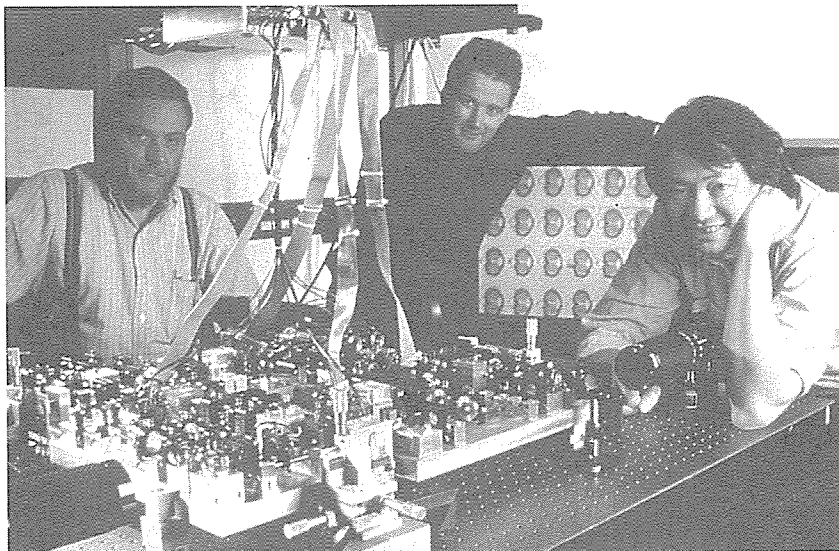
원칙을 실천에 옮기는 일은 매우 어렵겠으나 나노기계는 주사(走査)전자현미경같은 도구를 사용하여 하나하나의 원자를 배열할 수 있다는 것을 이

미 보여 주었다. 예컨대 IBM로고나 또는 1백억분의 1로 축소된 세계지도 또는 50나노미터 밖에 안되는 현(絃)을 가진 극소형 기타 등이 있다. 이들은 또 수십개의 분자로 된 기어와 모터를 설계했다. 나노기술자들은 25년 내에 분자를 다룰 수 있는 극미의 '손가락들'과 필요한 원료를 찾아내는 방법을 가르쳐 줄 극소형 전자두뇌를 갖춘 실용 나노기계가 등장할 것으로 보고 있다. 이 손가락은 강철보다 1백배나 강력하고 사람의 머리털의 5만분의 1인 털모양의 탄소분자인 탄소나노튜브로 만들 것이다. 전자두뇌도 나노튜브로 만들 수 있다. 적절한 소프트웨어와 충분한 기민성을 가진 나노로봇 또는 나노봇은 무엇이든지 제작할 수 있다.

어떤 작업이든 일하기 전에 먼저 엄청나게 많은 나노기계를 풀어 놓는다. 예컨대 혈관 속에는 수백만개, 독성폐기물 처리장에는 수조(兆)개, 승용차 제작에는 수천조개의 나노기계를 푼다. 종래의 조립라인에서는 이런 엄청

난 숫자의 나노봇을 만들 수 없으나 나노기계는 가능하다. 나노기술자들은 첫째, 기본업무를 수행하고 둘째, 스스로를 복제할 수 있는 나노봇을 설계할 계획이다. 그래서 첫번째 나노봇이 자기와 같은 로봇을 2개 복제하고 이 복제된 나노봇이 또 2개씩 복제한다면 1조개의 나노봇을 만드는 것은 시간문제다. 그러나 만약에 나노봇이 복제작업을 멈추는 것을 잊어 버리면 어떻게 될 것인가? 나노봇에 내장된 정지신호가 없는 경우 그 잠재적인 피해는 헤아릴 수 없을 정도로 엄청날 수가 있다. 나노봇이 통제력을 잃으면 사람의 몸 속을 순회하는 복제나노봇은 암보다 더 빠른 속도로 정상적인 조직을 파괴할 수도 있고 종이 재생 나노봇은 세계의 장서들을 모두 골판지로 만들 수 있으며 식량생산 나노봇은 지구의 전체 생물권을 한 장의 거대한 고르곤졸라치즈(이탈리아산 치즈)조각으로 만들어 버릴 수도 있다.

이에 대비하여 나노기술자들은 정해진 횟수의 복제를 한 뒤에는 스스로 파괴되는 나노봇 소프트웨어를 프로그래밍한다는 구상 외에도 높은 밀도를 가진 유독화합물이 있거나 좁은 범위내의 온도와 습도 등 일정한 조건하에서만 운용할 수 있는 나노봇을 설계할 계획이다. 또 일종의 나노봇 무기를 풀어놓으면 이것을 막을 방법은 없을 것이다. 그래서 나노기술의 잠재적 위험은 잠재적인 이익보다 더 크다고 주장하는 비평가들도 있다. 그러나 잠재적 이익이 너무나 크기 때문에 나노기술은 컴퓨터나 또는 유전의학보다는 21세기의 결정적인 기술이 될 수 있을 것이라고 예측하는 사람들이 많다.



미국 벨연구소 광컴퓨터연구부가 제작한 디지털 광프로세서

21세기에 뜨는 직업과 사라질 일자리

앞으로 직업을 바꾼다면 어떤 직업이 가장 좋을까? 10년 전만 해도 2000년의 가장 인기있는 직업이 웹디자이너가 될거라고 예측한 사람은 아무도 없었다.

21세기에 가장 높이 떠오를 수 있는 직업 열가지

- 1. 조직 엔지니어 :** 인공피부는 이미 시장에 출시되고 있고 인공연골도 곧 선보인다. 과학자들은 앞으로 25년 내에 페트리접시에서 채장을 생산할 수 있을 것이라고 생각하고 있다. 연구자들은 이미 동물의 복강(腹腔) 속에서 장과 방광을 키우는데 성공했고 간장, 심장 그리고 신장조직을 만드는 작업에도 착수했다.
- 2. 유전자 프로그래머 :** 디지털 지능지도를 이용하면 컴퓨터부호를 고쳐서 개인의 유전자를 바꿈으로써 맞춤형방을 만들 수 있다. 의사들은 DNA의 결합을 찾아내어 몇가지 암을 포함하여 각종 질병을 막는데 유전자요법과 '스마트' 분자를 사용할 것이다.
- 3. 의약품생산 농민 :** 새로운 시대의 식품생산업자는 치료용 단백질 생산하기 위해 유전공학기법을 이용한 곡물을 가꾸고 가축을 키운다. 백신을 내포한 토마토, 소와 양과 염소로부터 약품을 내포한 젖의 생산 등에서 이미 상당한 성과를 거두고 있다.
- 4. 프랑켄슈타인 식품 감시자 :** 유전공학을 이용하여 성장이 빠른 물고기와 냉해를 견디는 과일은 과밀한 지구의 식구들을 먹여 살리는데 도움을 줄 것이나 이런 새로운 잡종은 뜻하지 않게 먹이사슬을 교란할 수 있다. 생태정찰병은 이른바 '트로이의 목마' 같은 유전자의 영향을 감시하고 통제에서 벗어난 유전자도

입종자를 제거하는 일을 돕는다.

- 5. 데이터 탐색자 :** 데이터의 산더미에서 유용한 것을 추출하고 시장상인과 역학전문가들을 위해 행동양식을 지적한다.
- 6. 핫라인 취급자 :** 최신형 DVD는 말할 것도 없고 VCR의 프로그램을 재작성할 생각만 해도 겁을 덜컥 먹는 사람들이 많다. 이런 사람들은 3차원 홀로그램 TV나 말하는 토스터가 등장할 때까지 기다릴 수 밖에 없다. 원거리진단장치가 가전제품을 돌볼 것이지만 비디오전화를 통해 가정방문하는 수리공은 많지 않을 것이다.
- 7. 가상현실 배우 :** 유료 텔레비전이 출연자 지불형으로 바뀌어 프로들은 사이버스페이스 드라마에서 상호작용할 수 있다. TV시청자들이 따분한 분위기에서 벗어나기 위해 새로운 이야기 줄기를 세차게 요구할 것이기 때문에 대본작가들은 매우 수요가 많을 것이다.
- 8. 내로우캐스터 :** 방송계는 더욱 더 개성화되어 광고주들과 그대만을 위한 컨텐츠를 만들게 된다. 환경 커머셜은 시청자의 두뇌 속으로 직접 '나를 사달라'는 메시지를 보낸다는 중국적인 목표를 가지고 맛과 냄새를 사용하여 시청자의 주의력을 뺏는다.
- 9. 튜링 테스트 :** 컴퓨터 엔지니어들은 50년 전 영국의 수학자 앨런 튜링이 제안한 것처럼 인간의 지능을 모방하려는 노력을 계속 측정할 것이다.
- 10. 지식 엔지니어 :** 인공지능 브로커는 사람의 전문성을 소프트웨어로 옮긴다.

한편 21세기에 사라질 직업 열가지

- 1. 주식중매인, 자동차거래인, 우편배달원, 보험 및 부동산중개인 :** 인터넷은 수백만의 중매인의 일자리를 제거해 버릴 전망이다.
- 2. 교사 :** 원거리학습은 더욱 대중화되고 온라인 교실과 전자 채점을 통해 오늘날의 교원 휴게실은 미래의 가상의 도우미방이 된다.
- 3. 프린터 :** 신문과 잡지가 디지털지로 전환할 때 사라질 인쇄기를 구하기 위해 독서클럽을 지키는 사람들이 있을지 모르겠으나 제록스사와 미래지향기업들은 이미 보통 종이처럼 융통성이 있고 컴퓨터스크린처럼 변덕스런 소재를 만드는 경쟁에 뛰어 들었다.
- 4. 속기사 :** 정교한 음성인식 소프트웨어가 범용속기사, 비서, 중역보좌역들과 자리바꿈을 한다.
- 5. 경영최고책임자(CEO) :** 하루 24시간 비즈니스를 하는 시대에는 하향식 결정은 너무나 번거롭다. 신속하게 생각하는 전문

가들로 구성된 글로벌팀이 인터넷시대와 그 이후에 회사를 운영한다.

- 6. 치열교정의사 :** 이빨을 제자리로 옮기기 위해 3차원 시물레이션 프로그램으로 일련의 일회용 투명플라스틱 '교정장치'를 만들면 '메탈 마우스'가 필요없게 된다.
- 7. 교도관 :** 몸 속에 미세한 센서를 이식함으로써 수행자가 범죄활동을 하지 못하게 억제할 수 있다.
- 8. 트럭운전기사 :** 고속도로의 '스마트(지능형)차선'을 이용하면 컴퓨터로 차량행렬을 고속으로 주행시킬 수 있다.
- 9. 가정부 :** 전산화된 냉장고가 온라인으로 우유를 구입하기로 결정하고 가정의 청소작업에는 중앙진공시스템이나 먼지먹는 나노봇을 사용하기 때문에 가정부의 필요성이 줄어든다.
- 10. 어버이의 역할 :** 시험관수정과 인간복제가 보편화되고 인공자궁이 등장하면 아버지나 어머니의 역할은 공통같은 운명이 되어 버리는 것은 아닐까? **SD**

<春堂>